HETEROGENEOUS INTER-SIMULATOR COOPERATIVE DISTRIBUTED COMPUTING METHOD AND SYSTEM THEREFOR

Publication number: JP9311852

Publication date: 1997-12-02

Inventor: KA KIRIN; IHARA SHIGEO

Applicant: HITACHI LTD

Classification:

- international: ***G06F17/11; G06F17/50; G06F19/00;*** **G06F17/11; G06F17/50; G06F19/00;** (IPC1-7): G06F17/00; G06F17/11; G06F17/50

- European: G06F17/50C2

Application number: JP19960128111 19960523

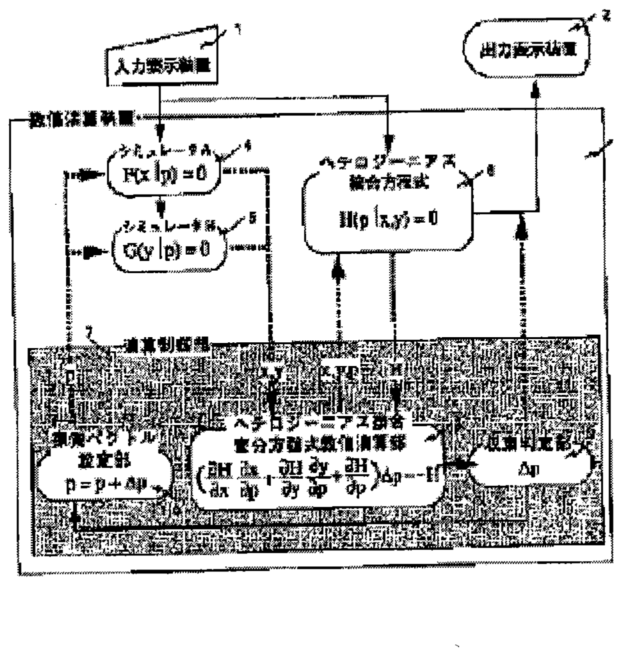
Priority number(s): JP19960128111 19960523

Also published as:

EP0809200 (A2)
US5926403 (A1)
EP0809200 (A3)

Abstract of **JP9311852**

PROBLEM TO BE SOLVED: To unite heterogeneous simulators with a high efficiency in regard to high speediness safety and scalability by setting a simulator consisting of a parameter and a variable and parameter value to a numerical arithmetic unit. SOLUTION: A numerical arithmetic unit 3 includes an arithmetic control part 7 which consists of a heterogeneous junction variational equation numerical arithmetic part 8, a convergence decision part 9 for parameter p and a retrieval vector setting part 10 for parameter p and has an agent function. The part 8 substitutes the parameter value p and the variable value (x) and (y) for a heterogeneous junction equation 6 and extracts the substitution value H. Then a heterogeneous junction variational equation composed by the extracted value H is solved so as to calculate an increment &Delta p of parameter p. The part 9 decides the convergence of the increment &Delta p. If the increment &Delta p is converged, the value of global consistent solutions p, (x) and (y) are shown on an output display device 2.



Family list
4 family members for: **JP9311852**
Derived from 3 applications

Back to JP931

1 **Method and system for concurrent computing between heterogeneous simulators**
Inventor: HO SHIRUN (JP); IHARA SIGEO (JP) **Applicant:** HITACHI LTD (JP)
EC: G06F17/50C2 **IPC:** ***G06F17/11; G06F17/50; G06F19/00*** (+4)
Publication info: **EP0809200 A2** - 1997-11-26
EP0809200 A3 - 2000-02-09

2 **HETEROGENEOUS INTER-SIMULATOR COOPERATIVE DISTRIBUTED COMPUTING METHOD AND SYSTEM THEREFOR**
Inventor: KA KIRIN; IHARA SHIGEO **Applicant:** HITACHI LTD
EC: G06F17/50C2 **IPC:** ***G06F17/11; G06F17/50; G06F19/00*** (+6)
Publication info: **JP9311852 A** - 1997-12-02

3 **Method and system for concurrent computing between heterogeneous simulators**
Inventor: HO SHIRUN (JP); IHARA SIGEO (JP) **Applicant:** HITACHI LTD (JP)
EC: G06F17/50C2 **IPC:** ***G06F17/11; G06F17/50; G06F19/00*** (+4)
Publication info: **US5926403 A** - 1999-07-20

---

(19)日本国特許庁（ＪＰ）　(12) 公開特許公報（Ａ）　(11)特許出願公開番号

特開平9－311852

(43)公開日　平成９年(1997)12月２日

(51)Int.Cl.[6]	識別記号	庁内整理番号	ＦＩ	技術表示箇所
Ｇ０６Ｆ　17/00			Ｇ０６Ｆ　15/20	Ｄ
17/11			15/32	
17/50			15/60	６１２Ｇ

審査請求　未請求　請求項の数10　ＯＬ　（全 18 頁）

(21)出願番号　特願平8－128111

(22)出願日　平成８年(1996)５月23日

(71)出願人　000005108
株式会社日立製作所
東京都千代田区神田駿河台四丁目６番地

(72)発明者　何　希倫
東京都国分寺市東恋ケ窪１丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内

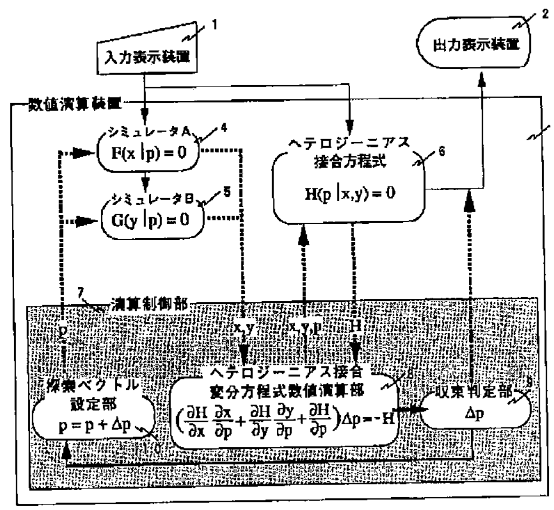
(72)発明者　井原　茂男
東京都国分寺市東恋ケ窪１丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内

(74)代理人　弁理士　小川　勝男

(54)【発明の名称】　ヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティング方法及びシステム

(57)【要約】
【課題】　物理現象が複雑化し異種シミュレータ間を接合方程式に基づいて連結するために、従来技術の非結合法又は結合法のデメリットを解決し高速且つ安定なシステムを提供する。
【解決手段】　数値演算装置３にヘテロジーニアス接合変分方程式数値演算部８と収束判定部９と探索ベクトル設定部１０とからなる演算制御部３を設ける。ヘテロジーニアス接合変分方程式数値演算部８からシミュレータＡとシミュレータＢ及びヘテロジーニアス接合方程式６にパラメータ値と変数値を入出力することで、数１のヘテロジーニアス接合変分方程式を形成しグローバルコンシスタントな解を求める。
【効果】　あらゆる先端科学技術分野において物理現象が複雑化した場合に、シミュレーションエンジニアは、ヘテロジーニアスな接合方程式を設定するのみで自動的にグローバルコンシスタントな解が得られることから、オペレータの解析と設計を極めて効果的に支援できる。

図１



1

【特許請求の範囲】

【請求項１】入力表示装置と数値演算装置及び出力表示装置を備えたコンピュータを用いて、パラメータと変数で規定されるすくなくとも２種類のシミュレータ及び該パラメータと変数とを関係づけるヘテロジーニアス接合方程式に関する情報を上記入力表示装置から上記数値演算装置に入力設定し、入力設定した情報から上記数値演算装置でグローバルコンシスタントな解を求め、求めた解を上記出力表示装置に表示するヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティング方法であって、上記数値演算装置内にエージェント機能を有する演算制御部を設け、該エージェント機能は以下の処理からなることを特徴とするヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティング方法。

（１．１）上記パラメータに対して各シミュレータより得られたローカルコンシスタントな解を取り出す処理、

（１．２）上記パラメータと変数とをすくなくとも１個のヘテロジーニアス接合方程式に代入して代入値を取り出す処理、

（１．３）取り出した代入値及び上記パラメータと変数に関するヘテロジーニアス接合変分方程式を解くことでパラメータの変化分を求める処理、

（１．４）該変化分の収束性を判定する処理、

（１．５）収束していなければ、上記パラメータを所定量だけ変化させ上記（１．１）～（１．４）を繰り返す処理、

（１．６）収束していれば、グローバルコンシスタントな解を上記出力表示装置に出力する処理。

【請求項２】入力表示装置と数値演算装置及び出力表示装置を備えたコンピュータを用いて、パラメータｐと変数ｘで規定される第１のシミュレータ、パラメータｐと変数ｙで規定される第２のシミュレータ及びパラメータｐと変数ｘ、ｙとを関係づけるヘテロジーニアス接合方程式に関する情報を上記入力表示装置から上記数値演算装置に入力設定し、入力設定した情報からグローバルコンシスタントな解ｐ、ｘ、ｙを求め、求めた解を上記出力表示装置に表示するヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティング方法であって、上記数値演算装置内に設けた演算制御部により以下の処理をおこなうことを特徴とするヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティング方法。

（１．１）パラメータ値ｐに対して第１のシミュレータより得られたローカルコンシスタントな解ｘと第２のシミュレータより得られたローカルコンシスタントな解ｙを取り出す処理、

（１．２）上記パラメータ値ｐと変数値ｘ、ｙをヘテロジーニアス接合方程式に代入して代入値Ｈを取り出す処理、

（１．３）取り出した代入値Ｈ及び上記パラメータｐと変数ｘ，ｙに関するヘテロジーニアス接合変分方程式を解くことでパラメータｐの変化分Δｐを求める処理、

2

（１．４）Δｐの収束性を判定する処理、

（１．５）収束していなければ、上記パラメータｐを所定量だけ変化させ上記（１．１）～（１．４）を繰り返す処理、

（１．６）収束していれば、グローバルコンシスタントな解ｐ、ｘ、ｙの値を上記出力表示装置に出力する処理。

【請求項３】パラメータｐと変数ｘで規定される第１のシミュレータ、パラメータｐと変数ｙで規定される第２のシミュレータ及びパラメータｐと変数ｘ、ｙを関係づけるヘテロジーニアス接合方程式に関する情報を入力表示する入力表示装置と、入力された情報からグローバルコンシスタントな解ｐ、ｘ、ｙを求める数値演算装置と、求めた解ｐ、ｘ、ｙの値を表示する出力表示装置とを備えたヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティングシステムであって、上記数値演算装置に以下の手段からなる演算制御部を設けたことを特徴とするヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティングシステム。

（２．１）パラメータ値ｐに対して第１のシミュレータより得られたローカルコンシスタントな解ｘと第２のシミュレータより得られたローカルコンシスタントな解ｙを取り出す手段、

（２．２）上記パラメータ値ｐと変数値ｘ、ｙをヘテロジーニアス接合方程式に代入して代入値Ｈを取り出す手段、

（２．３）取り出した代入値Ｈ及び上記パラメータ値ｐと変数値ｘ、ｙに関するヘテロジーニアス接合変分方程式を解くことでパラメータｐの変化分Δｐを求める手段、

（２．４）Δｐの収束性を判定する収束判定手段、

（２．５）収束していなければ、上記パラメータｐを所定量だけ変化させ上記（２．１）～（２．４）を繰り返す探索ベクトル設定手段、

（２．６）収束していれば、グローバルコンシスタントな解ｐ、ｘ、ｙの値を上記出力表示装置に出力する手段。

【請求項４】請求項２項記載のヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティング方法であって、上記（１．１）の処理は以下の（３．１）と（３．２）の処理からなり、上記（１．２）の処理は以下の（３．３）と（３．４）の処理からなることを特徴とするヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティング方法。

（３．１）上記数値演算装置に複数の第１のシミュレータと複数の第２のシミュレータを入力設定してパラメータ値ｐ（ｐ１、－－－、ｐｌ）に対して微小変化量δｐ１、－－－、δｐｌだけ変調したｐ＋δｐ1、－－－、ｐ＋δｐｌ及びｐを複数の第１のシミュレータと複数の第

２のシミュレータに送り出す処理、

（３．２）複数の第１のシミュレータでの分散処理により得られたローカルコンシスタントな解ｘ＋δｘ1、－－－、ｘ＋δｘｍ、ｘと複数の第２のシミュレータでの分散処理により得られたローカルコンシスタントな解ｙ＋δｙ1、－－－、ｙ＋δｙｎ、ｙを取り出す処理、

（３．３）上記数値演算装置に複数のヘテロジーニアス接合方程式を入力設定してパラメータ値ｐ＋δｐ1、－－－、ｐ＋δｐｌ、ｐと変数値ｘ＋δｘ1、－－－、ｘ＋δｘｍ、ｘとｙ＋δｙ1、－－－、ｙ＋δｙｎ、ｙを複数のヘテロジーニアス接合方程式に送り出す処理、

（３．４）複数のヘテロジーニアス接合方程式での分散処理により得られた代入値Ｈ＋δＨ1、－－－、Ｈを取り出す処理。

【請求項５】請求項３項記載のヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティングシステムであって、上記（２．１）の手段は以下の（４．１）の手段と（４．２）の手段からなり、上記（２．２）の手段は以下の（４．３）の手段と（４．４）の手段からなることを特徴とするヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティングシステム。

（４．１）上記数値演算装置に複数の第１のシミュレータと複数の第２のシミュレータを入力設定してパラメータ値ｐ（ｐ１、－－－、ｐｌ）に対して微小変化量δｐ1、－－－、δｐｌで変調したｐ＋δｐ1、－－－、ｐ＋δｐｌ及びｐを複数の第１のシミュレータと複数の第２のシミュレータに送り出す手段、

（４．２）複数の第１のシミュレータでの分散処理により得られたローカルコンシスタントな解ｘ＋δｘ1、－－－、ｘ＋δｘｍ、ｘと複数の第２のシミュレータでの分散処理により得られたローカルコンシスタントな解ｙ＋δｙ1、－－－、ｙ＋δｙｎ、ｙを取り出す手段、

（４．３）上記数値演算装置に複数のヘテロジーニアス接合方程式を入力設定してパラメータ値ｐ＋δｐ1、－－－、ｐ＋δｐｌ、ｐと変数値ｘ＋δｘ1、－－－、ｘ＋δｘｍ、ｘとｙ＋δｙ1、－－－、ｙ＋δｙｎ、ｙを複数のヘテロジーニアス接合方程式に送り出す手段、

（４．４）複数のヘテロジーニアス接合方程式での分散処理により得られた代入値Ｈ＋δＨ1、－－－、Ｈを取り出す手段。

【請求項６】請求項２項記載のヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティング方法であって、上記（１．１）の処理は以下の（５．１）の処理と（５．２）の処理からなり、上記（１．２）の処理は以下の（５．３）の処理と（５．４）の処理からなり、上記（１．３）の処理は以下の（５．５）の処理と（５．６）の処理からなり、上記（１．５）の処理は以下の（５．７）の処理と（５．８）の処理からなることを特徴とするヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティング方法。

（５．１）上記数値演算装置に複数の第１のシミュレータと複数の第２のシミュレータを入力設定し、パラメータ値ｐの変化量Δｐに対する複数の変化量係数α（α１、α２、－－－）からなるパラメータ値ｐα1、ｐα２、－－－を複数の第１のシミュレータと複数の第２のシミュレータに入力設定する処理、

（５．２）複数の第１のシミュレータでの分散処理により得られたローカルコンシスタントな解ｘα1、ｘα２、－－－と複数の第２のシミュレータでの分散処理により得られたローカルコンシスタントな解ｙα1、ｙα２、－－－を取り出す処理、

（５．３）上記数値演算装置に複数のヘテロジーニアス接合方程式を設定して、パラメータ値ｐα1、ｐα２、－－－と変数値ｘα1、ｘα２、－－－とｙα1、ｙα２、－－－を複数のヘテロジーニアス接合方程式に代入する処理、

（５．４）複数のヘテロジーニアス接合方程式での分散処理により得られた代入値Ｈ１、Ｈ２、－－－を取り出す処理、

（５．５）Ｈα１、Ｈα２、－－－の中でノルムが最小となり且つ前回の繰り返し演算におけるＨのノルムの最小値より小さくなるＨαを設定する処理、

（５．６）設定したＨαに対してヘテロジーニアス接合変分方程式を解くことでパラメータＰの増加量ΔＰを求める処理、

（５．７）求めた増加量ΔＰに対する上記複数の増加量係数α（α１、α２、…）からなる新しいパラメータ値Ｐα１＝Ｐ＋α１ΔＰ、Ｐα２＝Ｐ＋α２ΔＰ、…を設定する処理、

（５．８）設定した新しいパラメータ値にもとずき上記（１．１）…（１．４）を繰り返す処理。

【請求項７】請求項３項記載のヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティングシステムであって、上記（２．１）の手段は以下の（６．１）の手段と（６．２）の手段からなり、上記（２．２）の手段は以下の（６．３）の手段と（６．４）の手段からなり、上記（２．３）の手段は以下の（６．５）の手段と（６．６）の手段からなり、上記（２．５）の手段は以下の（６．７）の手段と（６．８）の手段からなることを特徴とするヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティング方法。

（６．１）上記数値演算装置に複数の第１のシミュレータと複数の第２のシミュレータを入力設定し、パラメータ値ｐの変化量Δｐに対する複数の変化量係数α（α１、α２、－－－）からなるパラメータ値ｐα1、ｐα２、－－－を複数の第１のシミュレータと複数の第２のシミュレータに入力設定する手段、

（６．２）複数の第１のシミュレータでの分散処理により得られたローカルコンシスタントな解ｘα1、ｘα２、－－－と複数の第２のシミュレータでの分散処理に

より得られたローカルコンシスタントな解ｙα1、ｙα２、－－－を取り出す手段、

（６．３）上記数値演算装置に複数のヘテロジーニアス接合方程式を設定して、パラメータ値ｐα1、ｐα２、－－－と変数値ｘα1、ｘα２、－－－とｙα1、ｙα２、－－－を複数のヘテロジーニアス接合方程式に代入する手段、

（６．４）複数のヘテロジーニアス接合方程式での分散処理により得られた代入値Ｈ１、Ｈ２、－－－を取り出す手段、

（６．５）Ｈα１、Ｈα２、－－－の中でノルムが最小となり且つ前回の繰り返し演算におけるＨのノルムの最小値より小さくなるＨαを設定する手段、

（６．６）設定したＨαに対してヘテロジーニアス接合変分方程式を解くことでパラメータＰの増加量ΔＰを求める手段、

（６．７）求めた増加量ΔＰに対する上記複数の増加量係数α（α１、α２、…）からなる新しいパラメータ値Ｐα１＝Ｐ＋α１ΔＰ、Ｐα２＝Ｐ＋α２ΔＰ、…を設定する手段、

（６．８）設定した新しいパラメータ値にもとずき上記（２．１）…（２．４）による処理を繰り返す手段。

【請求項８】請求項６項記載のヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティング方法であって、上記（５．５）の処理は以下の（７．１）の処理を含み、上記（５．７）の処理は以下の（７．２）の処理を含むことを特徴とするヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティング方法。

（７．１）Ｈα１、Ｈα２、－－－の中でノルムが最小となるＨαが前回の繰り返し演算におけるＨのノルムの最小値より大きい場合は、αを１／８倍する処理。

(7．２）パラメータ値ｐの増加量Δｐに対する３つの増加量係数０.５α、α、２.０α（0＜α＜1）を設定する処理。

【請求項９】請求項７項記載のヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティングシステムであって、上記（６．５）の手段は以下の（８．１）の手段を含み、上記（６．７）の手段は以下の（８．２）の手段を含むことを特徴とするヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティングシステム。

（８．１）Ｈα１、Ｈα２、－－－の中でノルムが最小となるＨαが前回の繰り返し演算におけるＨのノルムの最小値より大きい場合は、αを１／８倍する手段、

（８．２）上記パラメータ値ｐの増加量Δｐに対する３つの増加量係数０.５α、α、２.０α（0＜α＜1）を設定する手段。

【請求項１０】請求項２項記載のヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティング方法であって、上記（１．３）におけるヘテロジーニアス接合変分方程式はヘテロジーニアス接合方程式に対する一次の変分方程式であることを特徴とするヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティング方法。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】本発明は、ナノメートル素子、超高速流体力学、ミリ波モノリシック集積回路、又は、磁気記憶素子等あらゆる先端科学技術分野の解析や設計に活用されているシミュレータ又はＣＡＤシステム（Ｃｏｍｐｕｔｅｒ　Ａｉｄｅｄ　Ｄｅｓｉｇｎ）に係わり、特に、異種のシミュレータ間を効率良く結合させることでグローバルコンシスタントな解を求めて、而も、協調分散処理を用いての超高速性、極安定性、スケーラビリティーに優れたヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティング方法及びシステムに関するものである。

【０００２】

【従来の技術】通常、シミュレータを利用する際、図６に示すように、オペレータはマウスやキーボード及びディスプレイ等からなる入力表示装置１を介して、材料や構造モデリング、物理モデリング、数値計算手法の数値実験モデリング等におけるパラメータ値ｐを設定する。このパラメータ値ｐに基づき、ＣＰＵ（Ｃｅｎｔｒａｌ　Ｐｒｏｃｅｓｓｉｎｇ　Ｕｎｉｔ）やメモリ及びネットワークから構成された数値演算装置３がシミュレーションプログラムに基づいて演算処理を実行し、パラメータ値ｐより形成された非線形連立方程式の変数ｘ、ｙのセルフコンシスタント解を求める。変数値ｘ、ｙの結果は、データ又はグラフィックカルな形でディスプレイ等からなる出力表示装置２に表示されオペレータの解析や設計を支援する。

【０００３】しかし、近年、科学技術分野の発展が著しく、解析や設計の対象となる系は材料的に又構造的に多様化のトレンドにある。それに伴って、物理メカニズムは益々混迷の度を増し物理モデリング及び数値計算手法は複雑化の一途を辿っている。そのために、シミュレータ開発のエンジニアが直面している重要課題として、物理モデルが複雑になればなるほどプログラム開発日程が延び、而も、数値演算時間が膨大になることがある。

【０００４】図６に示すように、パラメータｐと変数ｘからなるシミュレータＡとパラメータｐと変数ｙからなるシミュレータＢがある。物理現象が複雑化して、パラメータｐと変数ｘ、ｙを関係づけるヘテロジーニアス接合方程式６が形成されたものとする。具体例として、ナノメートル素子は、電極を含め殆どの領域は汎用の古典的な流体シミュレータの適用範囲内にある。一方、ナノメートル構造の極微細な領域においては、トンネル効果等の量子輸送シミュレータを適用しなければならない。全系に適用可能な統合的なシミュレータを再構築するかわりに、各シミュレータを適材適所に活用する手段を選択すれば、古典論と量子論の境界領域において電流連続

性を保証すべき接合方程式が形成される。又、J.F.Bourgatらは、Contemporay Mathematics Vol. 157, PP. 377－398, 1994において、超高速航空力学に適用すべくボルツマン方程式とオイラー方程式又はナビエストークス方程式の組み合わせ問題及び境界条件としての接合方程式を述べている。ミリ波モノリシック集積回路においては、電子素子に適用すべき汎用流体シミュレータと空間伝搬するミリ波に適用すべきマックスウエル方程式に基づくシミュレータ及び境界領域における接合方程式が挙げられる。更に、磁気記憶素子の同時記憶再生シミュレーションにおいては、記憶シミュレータと再生シミュレータ及び接合方程式が形成される等、上記物理現象の複雑化に伴ってあらゆる先端科学技術分野で直面する課題である。

【0005】通常、シミュレーションエンジニアは、ヘテロジーニアスな接合方程式6をプログラミング構築してシミュレータA及びシミュレータBを組み合わせる方法をとる。まず、入力表示装置1を介して数値演算装置3にパラメータ値pを設定する。パラメータ値pに対してシミュレータAより得られたローカルコンシスタントな解xとシミュレータBより得られたローカルコンシスタントな解yをヘテロジーニアス接合方程式6に送り、ヘテロジーニアス接合方程式を解くことでパラメータpの増加量Δpを求める。収束判定部9においてΔpの収束性を判断して、収束していなければ探索ベクトル設定部10においてΔpだけ増加させた新しいパラメータ値pを設定して上記手順を繰り返し、収束していれば出力表示装置2にてグローバルコンシスタントな解p、x、yの値を表示する。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】図6の方法は非結合法と呼ばれ、ヘテロジーニアス接合方程式6を個別に開発可能であることからプログラム開発規模はそれ程大きくなく、一回の繰り返しの所要時間も少ない。しかし、パラメータpや変数x、yの増加量が独立に求められていることから繰り返し回数が増し、極めて収束性が悪く発散する危険性が高い。

【0007】一方、図7の方法は結合法と呼ばれ、パラメータpや変数x、yの増加量が従属的に求められていることから安定な収束性を有するが、シミュレータAとシミュレータBを含めてヘテロジーニアス接合方程式6を再構築するためにプログラム開発規模は極めて大きく、又、一回の繰り返しの所要時間が著しく増加する難点がある。要するに、上記非結合法及び結合法はそれぞれに高速性、安定性に関してメリットとデメリットを含んでいることである。本発明の目的は、これら従来技術の課題を解決し、超高速性、極安定性、スケーラビリティーに優れたヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティング方法及びシステムを提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明のヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティング方法及びシステムは以下の（1）～（7）に述べるような構成にした点に特徴がある。

【0009】（1）図1に示すように、数値演算装置3内に、ヘテロジーニアス接合変分方程式数値演算部8とパラメータpの収束判定部9及びパラメータpの探索ベクトル設定部10とから構成されてエージェント機能を有する演算制御部7を設ける。　ヘテロジーニアス接合変分方程式数値演算部8においては、パラメータ値pに対してシミュレータAより得られたローカルコンシスタントな解xとシミュレータBより得られたローカルコンシスタントな解yを取り出す。又、上記数値演算部8は、パラメータ値pと変数値x、yをヘテロジーニアス接合方程式6に代入して代入値Hを取り出す。これら取り出した値より形成されたヘテロジーニアス接合変分方程式を解くことでパラメータpの増加量Δpを求める。

【0010】収束判定部9においては、Δpの収束性を判断する。収束していなければ、探索ベクトル設定部10においてΔpを増加させた新しいパラメータ値pを設定し、再びシミュレータからローカルコンシスタントな解を取り出す手順を繰り返す。収束していれば、出力表示装置2にグローバルコンシスタントな解p、x、yの値を表示する。

【0011】（2）上記（1）に記載のヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティングシステムの演算制御部7において、図2に示すように、協調分散型微分演算制御部11を設ける。

【0012】協調分散型微分演算制御部11においては、数値演算装置3に複数のシミュレータAと複数のシミュレータB及び複数のヘテロジーニアス接合方程式6を設定する。

【0013】次に、パラメータ値p（p1、－－－、pl）に対して微小変化量δp1、－－－、δplで変調したp＋δp1、－－－、p＋δplとpを設定して、複数のシミュレータA及び複数のシミュレータBに送り出す。複数のシミュレータAでの分散処理により得られたローカルコンシスタントな解x＋δx1、－－－、x＋δxm、xと複数のシミュレータBでの分散処理により得られたローカルコンシスタントな解y＋δy1、－－－、y＋δyn、yを取り出して、ヘテロジーニアス接合変分方程式数値演算部8に送る。

【0014】ヘテロジーニアス接合変分方程式数値演算部8からは、再びパラメータ値p＋δp1、－－－、p＋δpl、pと変数値x＋δx1、－－－、x＋δxm、xとy＋δy1、－－－、y＋δyn、yを協調分散型微分演算制御部11に設定する。

【００１５】更に、協調分散型微分演算制御部１１においては、設定されたパラメータ値ｐ＋δｐ1、－－－、ｐ＋δｐｌ、ｐと変数値ｘ＋δｘ1、－－－、ｘ＋δｘｍ、ｘとｙ＋δｙ1、－－－、ｙ＋δｙｎ、ｙを複数のヘテロジーニアス接合方程式６に送り出し分散処理により得られた代入値Ｈ＋δＨ1、－－－、Ｈを取り出しヘテロジーニアス接合変分方程式数値演算部８に送り出す。これらパラメータ値ｐ＋δｐ1、－－－、ｐ＋δｐｌ、ｐと変数値ｘ＋δｘ1、－－－、ｘ＋δｘｍ、ｘとｙ＋δｙ1、－－－、ｙ＋δｙｎ、ｙ及び代入値Ｈ＋δＨ1、－－－、Ｈから形成されたヘテロジーニアス接合変分方程式を解くことでパラメータ値ｐの増加量Δｐを求める。

【００１６】（３）上記（１）又は（２）に記載のヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティングシステムの演算制御部７において、図３に示すように、探索ベクトル設定部１０、協調分散型演算制御部１２及び最適探索ベクトル設定部１３を設ける。

【００１７】探索ベクトル設定部１０においては、パラメータ値ｐの増加量Δｐに対する複数の増加量係数α（α１、α２、－－－）からなる新しいパラメータ値ｐα1、ｐα２、－－－（ｐ＋α１Δｐ、ｐ＋α２Δｐ、－－－）を協調分散型演算制御部１２に設定する。

【００１８】協調分散型演算制御部１２においては、数値演算装置３に複数のシミュレータＡと複数のシミュレータＢ及び複数のヘテロジーニアス接合方程式６を設定する。　次に、パラメータ値ｐα1、ｐα２、－－－を複数のシミュレータＡと複数のシミュレータＢに送り出す。複数のシミュレータＡでの分散処理により得られたローカルコンシスタントな解ｘα1、ｘα２、－－－と複数のシミュレータＢでの分散処理により得られたローカルコンシスタントな解ｙα1、ｙα２、－－－を取り出してヘテロジーニアス接合変分方程式の数値演算部８に送る。

【００１９】ヘテロジーニアス接合変分方程式数値演算部８からは、再びパラメータ値ｐα1、ｐα２、－－－と変数値ｘα1、ｘα２、－－－とｙα1、ｙα２、－－＊－を協調分散型演算制御部１２に設定する。

【００２０】協調分散型演算制御部１２においては、設定されたパラメータ値ｐα1、ｐα２、－－－と変数値ｘα1、ｘα２、－－－とｙα1、ｙα２、－－－をヘテロジーニアス接合方程式６に送り出し、分散処理させた代入値Ｈα１、Ｈα２、－－－を取り出して最適探索ベクトル設定部１３に送り出す。

【００２１】最適探索ベクトル設定部１３においては、Ｈα１、Ｈα２、－－－の中でノルムが最小となり且つ前回の繰り返し演算におけるＨのノルムの最小値より小さくなるＨαをヘテロジーニアス接合変分方程式数値演算部８に送る。

【００２２】ヘテロジーニアス接合変分方程式数値演算部８においては、設定値αに対するパラメータ値ｐαと変数値ｘα、ｙα及び代入値Ｈαから形成されたヘテロジーニアス接合変分方程式のみを解くことでパラメータ値ｐの増加量Δｐを求める。

【００２３】（４）上記（３）に記載のヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティングシステムの探索ベクトル設定部１０においては、図４に示すように、パラメータ値ｐの増加量Δｐに対する３つの増加量係数０．５α、α、２．０α（0＜α＜1）を設定する。

【００２４】最適探索ベクトル設定部１３においては、Ｈα１、Ｈα２、－－－の中でノルムが最小となるＨαが前回の繰り返し演算におけるＨのノルムの最小値より大きい場合は、αを１／８倍して探索ベクトル設定部１０に送る。

【００２５】（５）上記（１）、（２）、（３）又は（４）に記載のヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティングシステムのヘテロジーニアス接合変分方程式数値演算部８において、ヘテロジーニアス接合方程式に対する一次の変分方程式（数１）を設定する。

【００２６】

【数１】

$$\left(\frac{\partial H}{\partial x}\frac{\partial x}{\partial p}+\frac{\partial H}{\partial y}\frac{\partial y}{\partial p}+\frac{\partial H}{\partial p}\right)^{(k)}\Delta p^{(k+1)} = -H^{(k)}$$

【００２７】（６）上記（１）、（２）、（３）又は（４）に記載のヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティングシステムにおいて、図５に示すように、パラメータｐと変数ｘ、ｙ、－－－からなる三つ以上のシミュレータ４、５、５’及びパラメータｐと変数ｘ、ｙ、－－－を関係づけるヘテロジーニアス接合方程式６を入力表示装置１から数値演算装置３に設定し、設定したヘテロジーニアス接合方程式に対応したヘ※テロジーニアス接合変分方程式数値演算部８’を設ける。

【００２８】（７）上記（６）に記載のヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティングシステムにおいて、上記ヘテロジーニアス接合方程式に対する一次の変分方程式（数２）を設定する。

【００２９】

【数２】

$$\left(\frac{\partial H}{\partial x}\frac{\partial x}{\partial p}+\frac{\partial H}{\partial y}\frac{\partial y}{\partial p}+---+\frac{\partial H}{\partial p}\right)^{(k)}\Delta p^{(k+1)}=-H^{(k)}$$

【0030】本発明のヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティング方法及びシステムは、従来技術の非結合法又は結合法を活用した場合に比較して、高速性、安定性、スケーラビリティーの観点から異種のシミュレータ間を高効率に結合する極めて優れた方法及びシステムであることを述べる。

【0031】図7の結合法に基づいて、シミュレータAとシミュレータB及びヘテロジーニアス接合方程式6から形成される非線形連立方程式F（x｜p）＝0、G（y｜p）＝0及びH（p｜x、y）＝0のグローバルコンシスタントな解を求める。非線形連立方程式に対する一次の変分方程式は、数3となる。ここで、パラメータp、変数xとyの個数は各々l、m、n個である。

【0032】

【数3】

$$\begin{pmatrix} \left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)^{(k)}_{l\times l} & \left(\frac{\partial H}{\partial x}\right)^{(k)}_{l\times m} & \left(\frac{\partial H}{\partial y}\right)^{(k)}_{l\times n} \\ \left(\frac{\partial F}{\partial p}\right)^{(k)}_{m\times l} & \left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^{(k)}_{m\times m} & 0 \\ \left(\frac{\partial G}{\partial p}\right)^{(k)}_{n\times l} & 0 & \left(\frac{\partial G}{\partial y}\right)^{(k)}_{n\times n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} (\Delta p)^{(k+1)}_{l} \\ (\Delta x)^{(k+1)}_{m} \\ (\Delta y)^{(k+1)}_{n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (-H)^{(k)}_{l} \\ (-F)^{(k)}_{m} \\ (-G)^{(k)}_{n} \end{pmatrix}$$

【0033】又、数3をΔpについて解けば数4が得られる。

【0034】

【数4】

$$\left\{\left(\frac{\partial H}{\partial x}\right)^{(k)}\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^{-1(k)}\left(\frac{\partial F}{\partial p}\right)^{(k)}+\left(\frac{\partial H}{\partial y}\right)^{(k)}\left(\frac{\partial G}{\partial y}\right)^{-1(k)}\left(\frac{\partial G}{\partial p}\right)^{(k)}-\left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)^{(k)}\right\}(\Delta p)^{(k+1)}$$
$$=(H)^{(k)}-\left(\frac{\partial H}{\partial x}\right)^{(k)}\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^{-1(k)}(F)^{(k)}-\left(\frac{\partial H}{\partial y}\right)^{(k)}\left(\frac{\partial G}{\partial y}\right)^{-1(k)}(G)^{(k)}$$

【0035】更に、シミュレータAからは数5、シミュレータBからは数6が得られることからヘテロジーニアス接合方程式の一次変分方程式は数1となる。

【0036】

【数5】

$$\left(\frac{\partial x}{\partial p}\right)^{(k)}\equiv-\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^{-1(k)}\left(\frac{\partial F}{\partial p}\right)^{(k)},\qquad (F)^{(k)}=0$$

【0037】

【数6】

$$\left(\frac{\partial y}{\partial p}\right)^{(k)}\equiv-\left(\frac{\partial G}{\partial y}\right)^{-1(k)}\left(\frac{\partial G}{\partial p}\right)^{(k)},\qquad (G)^{(k)}=0$$

【0038】上記のように、従来技術の結合法に対して、直接的にシミュレータAとシミュレータBより得られるローカルコンシスタント解を用いることで、数3は数1のヘテロジーニアス接合の一次変分方程式に縮約し、而も、従来技術の非結合法で用いるヘテロジーニアス接合方程式6と同次元の式である。このことは、高速性は従来技術の非結合法と同等であり、且つ、安定性は結合法と同等であることを示す。従って、上記（1）又は（5）を特徴とするシステムはヘテロジーニアスなシミュレータ間の高速且つ安定な協調分散コンピューティ

ングシステムとなる。　又、数１のヘテロジーニアス接合の一次変分方程式を形成する場合、数５はパラメータ値ｐ＋δｐ1、－－－、ｐ＋δｐｌとｐに対してｌ＋１個のシミュレータＡでの分散処理により得られたローカルコンシスタントな解ｘ＋δｘ1、－－－、ｘ＋δｘｍ、ｘを用いることで得られる。数６はパラメータ値ｐ＋δｐ1、－－－、ｐ＋δｐｌとｐに対してｌ＋１個のシミュレータＢでの分散処理により得られたローカルコンシスタントな解ｙ＋δｙ1、－－－、ｙ＋δｙｎ、ｙを用いることで得られる。更に、パラメータ値ｐと変数値ｘ、ｙの組として（ｐ＋δｐ1、ｘ、ｙ）、－－－、（ｐ＋δｐｌ、ｘ、ｙ）、（ｐ、ｘ＋δｘ1、ｙ）、－－－、（ｐ、ｘ＋δｘｍ、ｙ）、（ｐ、ｘ、ｙ＋δｙ1）、－－－、（ｐ、ｘ、ｙ＋δｙｎ）、（ｐ、ｘ、ｙ）をｌ＋ｍ＋ｎ＋１のヘテロジーニアス接合方程式６での分散処理より得られた代入値Ｈ＋δＨ1、－－－、Ｈを用いれば数１のヘテロジーニアス接合変分方程式が形成される。上記のように、ｌ＋１個のシミュレータＡとｌ＋１個のシミュレータＢ及びｌ＋ｍ＋ｎ＋１個のヘテロジーニアス接合方程式６への協調分散処理を行えば、ヘテロジーニアス接合方程式６と数１のヘテロジーニアス接合の一次変分方程式が同次元であることから、一回の繰り返し演算時間は従来技術の非結合法と同程度である。而も、繰り返し回数は従来技術の結合法と同程度であることから極めて高速性を増すことになる。従って、上記（２）又は（５）を特徴とするシステムはヘテロジーニアスなシミュレータ間の超高速且つ安定な協調分散コンピューティングシステムである。

【００３９】又、複数のパラメータ値ｐα1、ｐα２、－－－（ｐ＋α１Δｐ、ｐ＋α２Δｐ、－－－）に対して、複数のシミュレータＡと複数のシミュレータＢでの分散処理より得られたローカルコンシスタントな解ｘα1、ｘα２、－－－とｙα1、ｙα２、－－－、及び、複数のヘテロジーニアス接合方程式６での分散処理より得られた代入値Ｈα１、Ｈα２、－－－から数１のヘテロジーニアス接合の一次変分方程式が形成される。その際に、Ｈα１、Ｈα２、－－－の中でノルムが最小となるＨαのみを選択しヘテロジーニアス接合変分方程式を解くことで最適パラメータ値ｐに対するΔｐを得る。尚、Ｈα１、Ｈα２、－－－の中でノルムが最小となるＨαが前回の繰り返し演算におけるＨのノルムの最小値より大きい場合は、αを１／８倍して前述の手順を繰り返す。上記に示すように、複数のシミュレータＡと複数のシミュレータＢ及び複数のヘテロジーニアス接合方程式６への協調分散処理を行えば、従来技術の結合法によるよりも最適な探索ベクトルが設定されることから繰り返し回数が減少し超高速性及び高い収束性が得られる。従って、上記（３）、（４）又は（５）を特徴とするシステムは、ヘテロジーニアスなシミュレータ間の超高速且つ極安定な協調分散コンピューティングシステムである。

【００４０】又、パラメータｐと変数ｘ、ｙ、－－－からなる二つ以上のシミュレータＡ、Ｂ、－－－及びパラメータｐと変数ｘ、ｙ、－－－を関係づけるヘテロジーニアス接合方程式に対するグローバルコンシスタント解ｐ、ｘ、ｙ、－－－を求める場合は、ヘテロジーニアス接合変分方程式の数値演算部に数２のヘテロジーニアス接合の一次変分方程式を設定する。シミュレーションエンジニアは、ヘテロジーニアス接合方程式を新たに設定するのみで、従来技術の非結合法よりも高速、且つ、結合法よりも高い収束性が得られる。従って、上記（６）又は（７）を特徴とするシステムは、ヘテロジーニアスなシミュレータ間の超高速且つ極安定な高いスケーラビリティーを有する協調分散コンピューティングシステムである。

【００４１】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施例を図面により詳細に説明する。

【００４２】図１４は、ヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティングに関する実行環境である。インサーネット１４１に繋がれたワークステーション１４２のクラスタ１４３、又は、内部通信バス１４５に繋がれた多数のＲＩＳＣプロセッサで構成された超並列コンピュータ１４４等、ネットワーク環境下のハードウェア上にインプリメントされた異種のシミュレータの協調を図りながら分散実行する環境を示している。

【００４３】図１は、本発明のヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティングシステムの本発明に係わる構成の第１の実施例を示すブロック図である。

【００４４】本実施例において、入力表示装置１を介して、パラメータｐと変数ｘからなるシミュレータＡとパラメータｐと変数ｙからなるシミュレータＢ及びパラメータ値ｐを数値演算装置３に設定する。数値演算装置３は、シミュレーションプログラムに基づいて演算処理を実行し、パラメータ値ｐより形成された非線形連立方程式のセルフコンシスタント解ｘ、ｙを求める。変数値ｘ、ｙは、データ又はグラフィカルな形で出力表示装置２に表示される。今、物理現象が複雑化して、パラメータｐと変数ｘ、ｙを関係づけるヘテロジーニアスな接合方程式が形成されるものとする。再び、入力表示装置１を介してヘテロジーニアスな接合方程式６を数値演算装置３に設定し、グローバルコンシスタントな解ｐ、ｘ、ｙを求める。　本発明は、数値演算装置３において、ヘテロジーニアス接合変分方程式数値演算部８、パラメータｐの収束判定部９とパラメータｐの探索ベクトル設定部１０から構成された演算制御部７を設ける。ヘテロジーニアス接合変分方程式の数値演算部８は、パラメータ値ｐに対してシミュレータＡより得られたローカルコンシスタントな解ｘとシミュレータＢより得られたローカ

ルコンシスタントな解ｙを取り出す。又、数値演算部８は、パラメータ値ｐと変数値ｘ、ｙをヘテロジーニアス接合方程式６に送り代入値Ｈを取り出す。パラメータ値ｐ、変数値ｘ、ｙ及びＨの値より形成された数１のヘテロジーニアス接合の一次変分方程式を解くことでパラメータ値ｐの増加量Δｐを求める。収束判定部９においては、Δｐの収束性を判断する。もし、収束していなければ、探索ベクトル設定部１０においてΔｐだけ増加させた新しいパラメータ値ｐを設定し、再びシミュレータからローカルコンシスタントな解を取り出す手順を繰り返す。収束していれば、出力表示装置２にてグローバルコンシスタントな解ｐ、ｘ、ｙの値を表示することができる。ここで、数１のヘテロジーニアス接合の一次変分方程式は、図７に示した従来技術として安定な結合法の数３と等価であり、而も、図６に示した従来技術として高速な非結合法のヘテロジーニアス接合方程式６と同次元であることから、本システムはヘテロジーニアスなシミュレータ間の高速且つ安定な協調分散コンピューティングシステムである。

【００４５】本発明の数値演算装置３における演算制御部の処理手順を図１５に示す。パラメータ値ｐの増加量Δｐが収束するまで（ブロック１５１）Δｐを増加させた新しいパラメータ値ｐを設定し（ブロック１５２）処理手順を繰り返す。Δｐを得るには、まず、パラメータ値ｐに対してシミュレータＡの非線形連立方程式Ｆ（ｘ｜ｐ）＝０を解くことでローカルコンシスタントな解ｘを得る処理（ブロック１５３）、シミュレータＢの非線形連立方程式Ｇ（ｙ｜ｐ）＝０を解くことでローカルコンシスタントな解ｙを得る処理（ブロック１５３）、及び、パラメータ値ｐと変数値ｘ、ｙをヘテロジーニアス接合方程式６のＨ（ｐ｜ｘ、ｙ）に代入した値Ｈを得る処理（ブロック１５４）を実行する。その後、パラメータ値ｐ、変数値ｘ、ｙ及びＨの値より形成されたヘテロジーニアス接合の一次変分方程式を解く処理（ブロック１５５）を実行することでΔｐを求めることができる。

【００４６】図２は、本発明のヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティングシステムの本発明に係わる構成の第２の実施例を示すブロック図である。

【００４７】本実施例では、図１に示す第１の実施例における演算制御部において、協調分散型微分演算制御部１１を設ける。

【００４８】協調分散型微分演算制御部１１は、パラメータ値ｐ（ｐ１、ーーー、ｐｌ）に対して微小変化量δｐ1、ーーー、δｐｌで変調したｐ＋δｐ1、ーーー、ｐ＋δｐｌとｐを設定する。又、数値演算装置３にｌ＋１個のシミュレータＡとｌ＋１個のシミュレータＢを設定する。次に、設定されたパラメータ値ｐ＋δｐ1、ーーー、ｐ＋δｐｌとｐをｌ＋１個のシミュレータＡとｌ＋１個のシミュレータＢに送り出し、分散処理により得られたローカルコンシスタントな解ｘ＋δｘ1、ーーー、ｘ＋δｘｍ、ｘとｙ＋δｙ1、ーーー、ｙ＋δｙｎ、ｙを取り出して（∂ｘ／∂ｐ）ｍ×ｌと（∂ｙ／∂ｐ）ｎ×ｌを形成してヘテロジーニアス接合変分方程式数値演算部８に送る。

【００４９】ヘテロジーニアス接合変分方程式数値演算部８は、再びパラメータ値ｐ＋δｐ1、ーーー、ｐ＋δｐｌ、ｐと変数値ｘ＋δｘ1、ーーー、ｘ＋δｘｍ、ｘとｙ＋δｙ1、ーーー、ｙ＋δｙｎ、ｙを協調分散型微分演算制御部１１に設定する。

【００５０】協調分散型微分演算制御部１１は、パラメータ値ｐと変数値ｘ、ｙの組として（ｐ＋δｐ1、ｘ、ｙ）、ーーー、（ｐ＋δｐｌ、ｘ、ｙ）、（ｐ、ｘ＋δｘ1、ｙ）、ーーー、（ｐ、ｘ＋δｘｍ、ｙ）、（ｐ、ｘ、ｙ＋δｙ1）、ーーー、（ｐ、ｘ、ｙ＋δｙｎ）、（ｐ、ｘ、ｙ）を設定する。又、数値演算装置３にｌ＋ｍ＋ｎ＋１個のヘテロジーニアス接合方程式６を設定する。設定されたパラメータ値ｐと変数値ｘ、ｙの組をｌ＋ｍ＋ｎ＋１個のヘテロジーニアス接合方程式６に送り出し、分散処理させたＨの値Ｈ＋δＨ1、ーーー、Ｈを取り出して（∂Ｈ／∂ｘ）ｌ×ｍ、（∂Ｈ／∂ｙ）ｌ×ｎ、（∂Ｈ／∂ｐ）ｌ×ｌを形成してヘテロジーニアス接合変分方程式数値演算部８に送り出す。これら（∂ｘ／∂ｐ）ｍ×ｌ、（∂ｙ／∂ｐ）ｎ×ｌと（∂Ｈ／∂ｘ）ｌ×ｍ、（∂Ｈ／∂ｙ）ｌ×ｎ、（∂Ｈ／∂ｐ）及びＨの値から形成された数１のヘテロジーニアス接合の一次の変分方程式を解くことでパラメータ値ｐの増加量Δｐを求めることができる。ここで、ｌ＋１個のシミュレータＡとｌ＋１個のシミュレータＢ及びｌ＋ｍ＋ｎ＋１個のヘテロジーニアス接合方程式６への協調分散処理を行えば、数１のヘテロジーニアス接合の一次変分方程式とヘテロジーニアス接合方程式６が同次元であることから、従来技術の非結合法と一回の繰り返し演算時間は同程度である。而も、繰り返し回数は従来技術の安定な結合法と同程度であることから、本システムはヘテロジーニアスなシミュレータ間の超高速且つ安定な協調分散コンピューティングシステムである。

【００５１】本発明の数値演算装置３における協調分散型微分演算制御部を含めた処理手順を図１６に示す。パラメータ値ｐの増加量Δｐが収束するまで（ブロック１６１）Δｐを増加させた新しいパラメータ値ｐを設定し（ブロック１６２）処理手順を繰り返す。Δｐを得るには、まず初めに、パラメータ値ｐ（ｐ１、ーーー、ｐｌ）に対して微小変化量δｐ1、ーーー、δｐｌで変調したｐ＋δｐ1、ーーー、ｐ＋δｐｌとｐを設定する（ブロック１６３）。設定されたパラメータ値ｐ＋δｐ1、ーーー、ｐ＋δｐｌとｐに対してｌ＋１個のシミュレータＡにおける非線形連立方程式Ｆ（ｘ｜ｐ）＝０とｌ＋１個のシミュレータＢにおける非線形連立方程式Ｇ（ｙ｜ｐ）＝０を分散処理により解くことでローカルコ

ンシスタントな解ｘ＋δｘ1、－－－、ｘ＋δｘｍ、ｘとｙ＋δｙ1、－－－、ｙ＋δｙｎ、ｙを得る処理（ブロック１６４、１６５）、及び、（∂ｘ／∂ｐ）ｍ×ｌと（∂ｙ／∂ｐ）ｎ×ｌを形成する処理（ブロック１６６）を実行する。

【００５２】次に、パラメータ値ｐと変数値ｘ、ｙの組として（ｐ＋δｐl、ｘ、ｙ）、－－－、（ｐ＋δｐｌ、ｘ、ｙ）、（ｐ、ｘ＋δｘl、ｙ）、－－－、（ｐ、ｘ＋δｘｍ、ｙ）、（ｐ、ｘ、ｙ＋δｙl）、－－－、（ｐ、ｘ、ｙ＋δｙｎ）、（ｐ、ｘ、ｙ）を設定する（ブロック１６７）。設定されたパラメータ値ｐと変数値ｘ、ｙの組に対して、ｌ＋ｍ＋ｎ＋１個のヘテロジーニアス接合方程式６のＨ（ｐ｜ｘ、ｙ）に分散処理により代入することでＨ＋δＨl、－－－、Ｈを得る処理（ブロック１６８）、及び、（∂Ｈ／∂ｘ）ｌｘｍ、（∂Ｈ／∂ｙ）ｌ×ｎ、（∂Ｈ／∂ｐ）ｌ×ｌを形成する処理（ブロック１６９）を実行する。

【００５３】これら（∂ｘ／∂ｐ）ｍ×ｌ、（∂ｙ／∂ｐ）ｎ×ｌと（∂Ｈ／∂ｘ）ｌ×ｍ、（∂Ｈ／∂ｙ）ｌ×ｎ、（∂Ｈ／∂ｐ）及びＨの値から形成された数１のヘテロジーニアス接合の一次の変分方程式を解く処理（ブロック１７０）を実行することでΔｐを求めることができる。

【００５４】図３は、本発明のヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティングシステムの本発明に係わる構成の第３の実施例を示すブロック図である。

【００５５】本実施例では、図１に示す第１の実施例における演算制御部において、協調分散型演算制御部１２及び最適探索ベクトル設定部１３を設ける。

【００５６】探索ベクトル設定部１０は、パラメータ値ｐの増加量Δｐに対する複数の増加量係数α（α１、α２、－－－）からなる新しいパラメータ値ｐα1、ｐα２、－－－すなわち、ｐ＋α１Δｐ、ｐ＋α２Δｐ、－－－を協調分散型演算制御部１２に設定する。又、図４に示すように、増加量係数の値としてα（０＜α＜１）を基に三つの増加量係数０．５α、α、２．０αを設定する。

【００５７】協調分散型演算制御部１２は、数値演算装置３に複数のシミュレータＡと複数のシミュレータＢを設定する。次に、パラメータ値ｐα1、ｐα２、－－－を複数のシミュレータＡと複数のシミュレータＢに送り出し、分散処理により得られたローカルコンシスタントな解ｘα1、ｘα２、－－－とｙα1、ｙα２、－－－を取り出してヘテロジーニアス接合変分方程式の数値演算部８に送る。

【００５８】ヘテロジーニアス接合変分方程式の数値演算部８は、再びパラメータ値ｐα1、ｐα２、－－－と変数値ｘα1、ｘα２、－－－とｙα1、ｙα２、－－－を協調分散型演算制御部１２に設定する。

【００５９】協調分散型演算制御部１２は、パラメータ値ｐと変数値ｘ、ｙの組として（ｐα1、ｘα1、ｙα1）、（ｐα２、ｘα２、ｙα２）、－－－を設定する。又、数値演算装置３に複数のヘテロジーニアス接合方程式６を設定する。設定されたパラメータ値ｐと変数値ｘ、ｙの組（ｐα1、ｘα1、ｙα1）、（ｐα２、ｘα２、ｙα２）、－－－を複数のヘテロジーニアス接合方程式６に送り出し、分散処理させたＨの値Ｈα１、Ｈα２、－－－を取り出して最適探索ベクトル設定部１３に送り出す。

【００６０】最適探索ベクトル部１３は、Ｈα１、Ｈα２、－－－の中でノルムが最小となり且つ前回の繰り返し演算におけるＨのノルムの最小値より小さくなるＨαをヘテロジーニアス接合変分方程式の数値演算部８に送る。

【００６１】ヘテロジーニアス接合変分方程式数値演算部８は、設定値αに対するパラメータ値ｐαと変数値ｘα、ｙα及びＨの値Ｈαから形成された数１のヘテロジーニアス接合の一次変分方程式のみを解くことで最適パラメータ値ｐに対する増加量Δｐを得る。又、図４に示すように、Ｈα１、Ｈα２、－－－の中でノルムが最小となるＨαが前回の繰り返し演算におけるＨのノルムの最小値より大きい場合は、非線形性を弱めるためにαを１／８倍に縮小して上記手順を繰り返す。図３の中に示した添え字のｋは、ｋ回目の繰り返し時の値であることを表している。ここで、複数のシミュレータＡと複数のシミュレータＢ及び複数のヘテロジーニアス接合方程式６への協調分散処理を行えば、従来技術の結合法よりも最適探索ベクトルが設定されることから繰り返し回数が減少し超高速性及び高い収束性が得られる。従って、本システムはヘテロジーニアスなシミュレータ間の超高速且つ極安定な協調分散コンピューティングシステムである。

【００６２】本発明の数値演算装置３の演算制御部における協調分散型演算制御部及び最適探索ベクトル設定部を含めた処理手順を図１７に示す。パラメータ値ｐの増加量Δｐが収束するまで（ブロック１７１）Δｐを増加させた新しいパラメータ値ｐを設定し処理手順を繰り返す。Δｐを得るには、まず、パラメータ値ｐの増加量Δｐに対する複数の増加量係数α（α１、α２、－－－）からなる新しいパラメータ値ｐα1、ｐα２、－－－（ｐ＋α１Δｐ、ｐ＋α２Δｐ、－－－）を設定する（ブロック１７２）。パラメータ値ｐα1、ｐα２、－－－に対して複数のシミュレータＡにおける非線形連立方程式Ｆ（ｘ｜ｐ）＝０と複数のシミュレータＢにおける非線形連立方程式Ｇ（ｙ｜ｐ）＝０を分散処理により解くことでローカルコンシスタントな解ｘα1、ｘα２、－－－とｙα1、ｙα２、－－－を得る処理（ブロック１７３、１７４）を実行する。

【００６３】次に、パラメータ値ｐと変数値ｘ、ｙの組

（ｐα1、ｘα1、ｙα1）、（ｐα２、ｘα２、ｙα２）、－－－を複数のヘテロジーニアス接合方程式６のＨ（ｐ｜ｘ、ｙ）に分散処理により代入することでＨα１、Ｈα２、－－－を得る処理（ブロック１７５）を実行する。

【００６４】これらＨα１、Ｈα２、－－－の中でノルムが最小となり且つ前回の繰り返し演算におけるＨのノルムの最小値より小さくなるＨα選択する（ブロック１７６）。この設定値αに対するパラメータ値ｐαと変数値ｘα、ｙα及びＨの値Ｈαから形成された数１のヘテロジーニアス接合の一次変分方程式を解く処理（ブロック１７８）を実行することで最適パラメータ値ｐに対する増加量Δｐを得ることができる。又、Ｈα１、Ｈα２、－－－の中でノルムが最小となるＨαが前回の繰り返し演算におけるＨのノルムの最小値より大きい場合は（ブロック１７７）、非線形性を弱めるためにαを１／８倍に縮小して（ブロック１７９）上記処理手順を繰り返す。

【００６５】図５は、本発明のヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティングシステムの第４の実施例のブロック図である。

【００６６】本実施例では、図１に示す第１の実施例において、パラメータｐと変数ｘ、ｙ、－－－からなるヘテロジーニアスなシミュレータ４、５とその他のシミュレータ５’－－－及びパラメータｐと変数ｘ、ｙ、ｚ、－－－を関係づけるヘテロジーニアス接合方程式６’を入力表示装置１から数値演算装置３に設定する。又、ヘテロジーニアス接合方程式に対応した変分方程式の数値演算部８’を設ける。

【００６７】ヘテロジーニアス接合変分方程式数値演算部８’は、数２のヘテロジーニアス接合方程式の一次変分方程式を形成しパラメータ値ｐの増加量Δｐを求めることでグローバルコンシスタント解ｐ、ｘ、ｙを得る。ここで、シミュレーションエンジニアは、数２のヘテロジーニアス接合変分方程式８’を新たに設定するのみで、従来技術の非結合法より高速、且つ、結合法より高い収束性が得られる。従って、本システムはヘテロジーニアスなシミュレータ間の超高速且つ極安定な高いスケーラビリティーを有する協調分散コンピューティングシステムである。

【００６８】図８は、本発明のヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティングシステムにおけるナノメートル素子のシミュレーションに関する第５の実施例を示すブロック図である。

【００６９】本実施例では、入力表示装置１を介して、量子輸送シミュレータ４と古典輸送シミュレータ５を数値演算装置３に設定する。数値演算装置３は、シミュレーションプログラムに基づいて演算処理を実行し、非線形連立方程式の変数に対するセルフコンシスタントな解＊を求める。これら変数値は、データ又はグラフィカルな形で出力表示装置２に表示される。

【００７０】ナノメートル素子において、電極を含め殆どの領域は汎用の古典輸送シミュレータ５の適用範囲内にある。一方、ナノメートル構造の極微細な領域においては、トンネル効果等の量子輸送シミュレータ４を適用しなければならない。図１２のフローチャートに量子輸送シミュレータ４の詳細を示す。まず、非平衡量子分布関数方程式Ｗと境界条件の量子分布関数ｆ（ｘｂ、ｋｂ）に基づいて、ポテンシャルφ（ｘ）に対する量子分布関数ｆ（ｘ、ｋ）を求める（ブロック１２１）。次に、ポアソン方程式Φと境界条件のポテンシャルφ（ｘｂ）に基づいて、量子分布関数ｆ（ｘ、ｋ）により得られた電子密度ｎ（ｘ）（ブロック１２２）に対するポテンシャルφ（ｘ）を求めて（ブロック１２３）、ポテンシャルと電子密度の増加量Δφ（ｘ）とΔｎ（ｘ）が共に収束条件を満たすまで上記手順を繰り返す（ブロック１２４）。もし収束条件を満たしていれば、セルフコンシスタントな解である量子分布関数ｆ（ｘ、ｋ）から電流密度Ｊｑ（ｘ）が得られる（ブロック１２５）。又、図１３のフローチャートに古典輸送シミュレータ５の詳細を示す。まず、電流連続方程式Ｎと境界条件の電子密度ｎ（ｘｂ）に基づいて、ポテンシャルφ（ｘ）に対する電子密度ｎ（ｘ）を求める（ブロック１３１）。次に、量子輸送シミュレータ４と同様にポアソン方程式Φと境界条件のポテンシャルφ（ｘｂ）に基づいて、電子密度ｎ（ｘ）に対するポテンシャルφ（ｘ）を求めて（ブロック１３２）、ポテンシャルと電子密度の増加量Δφ（ｘ）とΔｎ（ｘ）が共に収束条件を満たすまで上記手順を繰り返す（ブロック１３３）。もし収束条件を満たしていれば、セルフコンシスタントな解であるポテンシャルφ（ｘ）と電子密度ｎ（ｘ）から電流密度Ｊｃ（ｘ）が得られる（ブロック１３４）。

【００７１】全系に適用可能な統合的なシミュレータを再構築するかわりに、パラメータφ（ｘｂ）と変数Ｊｑ（ｘ）からなる量子輸送シミュレータ４とパラメータφ（ｘｂ）と変数Ｊｃ（ｘ）からなる古典輸送シミュレータ５を適材適所に活用する手段を選択すれば、境界領域ｘｂにおいて量子輸送シミュレータ４より得られる電流密度Ｊｑ（ｘｂ）と古典輸送シミュレータ５より得られる電流密度Ｊｃ（ｘｂ）に対して電流連続性を保証する数７のヘテロジーニアス接合方程式が形成される。再び、入力表示装置１を介してヘテロジーニアスな接合方程式６を数値実験装置３に設定し、グローバルコンシスタントな解ｆ（ｘ）、Ｊｑ（ｘ）、Ｊｃ（ｘ）を求める。

【００７２】

【数７】

$$H\{J^{q}(xb), J^{c}(xb)\} \equiv J^{c}(xb) - J^{q}(xb) = 0$$

【００７３】本発明は、図８に示すように、数値演算装置３にヘテロジーニアス接合変分方程式数値演算部８、パラメータｐの収束判定部９とパラメータｐの探索ベクトル設定部１０から構成された演算制御部７を設ける。ヘテロジーニアス接合変分方程式数値演算部８は、パラメータ値φ（ｘｂ）に対して量子輸送シミュレータ４より得られたローカルコンシスタントな解Ｊｑ（ｘ）と古典輸送シミュレータ５より得られたローカルコンシスタントな解Ｊｃ（ｘ）を取り出す。又、数値演算部８は、＊パラメータ値φ（ｘｂ）と変数値Ｊｑ（ｘ）、Ｊｃ（ｘ）をヘテロジーニアス接合方程式６に送りＨの値Ｊｃ（ｘｂ）－Ｊｑ（ｘｂ）を取り出す。パラメータ値φ（ｘｂ）、変数値Ｊｑ（ｘ）、Ｊｃ（ｘ）及びＨの値Ｊｃ（ｘｂ）－Ｊｑ（ｘｂ）より形成された数８のヘテロジーニアス接合の一次変分方程式を解くことでパラメータ値φ（ｘｂ）の増加量Δφ（ｘｂ）を求める。

【００７４】

【数８】

$$\left(\frac{\partial H}{\partial J^{q}}\frac{\partial J^{q}}{\partial \phi}+\frac{\partial H}{\partial J^{c}}\frac{\partial J^{c}}{\partial \phi}+\frac{\partial H}{\partial \phi}\right)^{(k)}\Delta\phi^{(k+1)} = -H^{(k)}$$

【００７５】収束判定部９においては、Δφ（ｘｂ）の収束性を判断する。もし、収束していなければ、探索ベクトル設定部１０においてΔｆ（ｘｂ）を増加させた新しいパラメータ値φ（ｘｂ）を設定して、再びシミュレータからローカルコンシスタントな解を取り出す手順を繰り返す。収束していれば、出力表示装置２にてグローバルコンシスタントな解φ（ｘ）、Ｊｑ（ｘ）、Ｊｃ（ｘ）の値を表示することができる。本システムは、従来技術として安定な結合法と等価であり、而も、数８のヘテロジーニアス接合の一次変分方程式と従来技術の非結合法におけるヘテロジーニアス接合方程式Ｈ６は同次元であることが示せることから、本システムはナノメートル素子シミュレーションに関する量子輸送シミュレータと古典輸送シミュレータ間の高速且つ安定な協調分散コンピューティングシステムといえる。

【００７６】図９は、本発明のヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティングシステムにおけるナノメートル素子のシミュレーションに関する第６の実施例を示すブロック図である。

【００７７】本実施例では、図８に示す第５の実施例における演算制御部において、協調分散型演算制御部１１を設ける。

【００７８】協調分散型微分演算制御部１１は、パラメータ値φ（ｘｂ）｛φ（ｘｂ１）、－－－、ｆ（ｘｂｌ）｝に対して微小変化量δφ（ｘｂ１）、－－－、δφ（ｘｂｌ）を変調したφ（ｘｂ）＋δφ（ｘｂ１）、－－－、φ（ｘｂ）＋δφ（ｘｂｌ）とφ（ｘｂ）を設定する。又、数値演算装置３にｌ＋１個の量子輸送シミュレータ４とｌ＋１個の古典輸送シミュレータ５を設定する。次に、設定されたパラメータ値φ（ｘｂ）＋δφ（ｘｂ１）、－－－、φ（ｘｂ）＋δφ（ｘｂｌ）とφ（ｘｂ）をｌ＋１個の量子輸送シミュレータ４とｌ＋１個の古典輸送シミュレータ５に送り出し、分散処理により得られたローカルコンシスタントな解Ｊｑ（ｘｂ）＋δＪｑ（ｘｂ１）、－－－、Ｊｑ（ｘｂ）＋δＪｑ（ｘｂｌ－１）とＪｃ（ｘｂ）＋δＪｃ（ｘｂ１）、－－－、Ｊｃ（ｘｂ）＋δＪｃ（ｘｂｌ－１）を取り出して｛∂Ｊｑ（ｘｂ）／∂φ（ｘｂ）｝ｌ－１×ｌと｛∂Ｊｃ（ｘｂ）／∂φ（ｘｂ）｝ｌ－１×ｌを形成してヘテロジーニアス接合変分方程式数値演算部８に送る。

【００７９】ヘテロジーニアス接合変分方程式数値演算部８は、再びパラメータ値φ（ｘｂ）＋δφ（ｘｂ１）、－－－、φ（ｘｂ）＋δφ（ｘｂｌ）とφ（ｘｂ）及び変数値Ｊｑ（ｘｂ）＋δＪｑ（ｘｂ１）、－－－、Ｊｑ（ｘｂ）＋δＪｑ（ｘｂｌ－１）とＪｃ（ｘｂ）＋δＪｃ（ｘｂ１）、－－－、Ｊｃ（ｘｂ）＋δＪｃ（ｘｂｌ－１）を協調分散型微分演算制御部１１に設定する。

【００８０】協調分散型微分演算制御部１１は、パラメータ値φ（ｘｂ）と変数値Ｊｑ（ｘｂ）、Ｊｃ（ｘｂ）の組として｛φ（ｘｂ）＋δφ（ｘｂ１）、Ｊｑ（ｘｂ）、Ｊｃ（ｘｂ）｝、－－－、｛φ（ｘｂ）＋δφ（ｘｂｌ）、Ｊｑ（ｘｂ）、Ｊｃ（ｘｂ）｝、｛φ（ｘｂ）、Ｊｑ（ｘｂ）＋δＪｑ（ｘｂ１）、Ｊｃ（ｘｂ）｝、－－－、｛φ（ｘｂ）、Ｊｑ（ｘｂ）＋δＪｑ（ｘｂｌ－１）、Ｊｃ（ｘｂ）｝、｛φ（ｘｂ）、Ｊｑ（ｘｂ）、Ｊｃ（ｘｂ）＋δＪｃ（ｘｂ１）｝、－－－、｛φ（ｘｂ）、Ｊｑ（ｘｂ）、Ｊｃ（ｘｂ）＋δＪｃ（ｘｂｌ－１）｝、｛φ（ｘｂ）、Ｊｑ（ｘｂ）、Ｊｃ（ｘｂ）｝を設定する。又、数値演算装置３に３ｌ－１個のヘテロジーニアス接合方程式６を設定する。設定されたパラメータ値φ（ｘｂ）と変数値Ｊｑ（ｘｂ）、Ｊｃ（ｘｂ）の組を３ｌ－１個のヘテロジーニアス接合方程式６に送り出し、分散処理させたＨの値Ｈ＋δＨ１、－－－、Ｈを取り出して｛∂Ｈ／∂φ（ｘｂ）｝ｌ×ｌ、｛∂Ｈ／∂Ｊｑ（ｘｂ）｝ｌ×ｌ－１、｛∂Ｈ／∂Ｊｃ（ｘｂ）｝１×｜－１を形成してヘテロジーニアス接合変分方程式の数値演算部に送り出す。これら｛∂

Ｊｑ（ｘｂ）／∂φ（ｘｂ）｝ｌ－１×ｌと｛∂Ｊｃ（ｘｂ）／∂φ（ｘｂ）｝ｌ－１×ｌと｛∂Ｈ／∂φ（ｘｂ）｝ｌ×ｌ、｛∂Ｈ／∂Ｊｑ（ｘｂ）｝ｌ×ｌ－１、｛∂Ｈ／∂Ｊｃ（ｘｂ）｝ｌ×ｌ－１及びＨの値から形成された数８のヘテロジーニアス接合変分方程式を解くことでパラメータ値φ（ｘｂ）の増加量Δφ（ｘｂ）を求めることができる。ここで、ｌ＋１個の量子輸送シミュレータ４とｌ＋１個の古典輸送シミュレータ５及び３ｌ－１個のヘテロジーニアス接合方程式６への協調分散処理を行えば、数８のヘテロジーニアス接合の一次変分方程式とヘテロジーニアス接合方程数６は同次元であることから、一回の繰り返し演算時間は従来技術の非結合法と同程度である。而も、繰り返し回数は従来技術の安定な結合法と同程度であることから、本システムはナノメートル素子シミュレーションに関する量子輸送シミュレータと古典輸送シミュレータ間の超高速且つ安定な協調分散コンピューティングシステムといえる。

【００８１】図１０は、本発明のヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティングシステムにおけるナノメートル素子のシミュレーションに関する第７の実施例を示すブロック図である。

【００８２】本実施例では、図８に示す第５の実施例における演算制御部において、協調分散型演算制御部１２及び最適探索ベクトル設定部１３を設ける。

【００８３】探索ベクトル設定部１０は、パラメータ値φ（ｘｂ）の増加量Δφ（ｘｂ）に対する複数の増加量係数α（α１、α２、－－－）からなる新しいパラメータ値φ（ｘｂ）α1、φ（ｘｂ）α２、－－－｛φ（ｘｂ）＋α１Δφ（ｘｂ）、φ（ｘｂ）＋α２Δφ（ｘｂ）、－－－｝を協調分散型演算制御部１２に設定する。又、図１１に示すように、増加量係数の値としてα（０＜α＜１）を元に三つの増加量係数０．５α、α、２．０αを設定する。

【００８４】協調分散型演算制御部１２は、数値演算装置３に複数の量子輸送シミュレータ４と複数の古典輸送シミュレータ５を設定する。次に、パラメータ値φ（ｘｂ）α1、φ（ｘｂ）α２、－－－を複数の量子輸送シミュレータ４と複数の古典輸送シミュレータ５に送り出し、分散処理により得られたローカルコンシスタントな解Ｊｑ（ｘｂ）α1、Ｊｑ（ｘｂ）α２、－－－とＪｃ（ｘｂ）α1、Ｊｃ（ｘｂ）α２、－－－を取り出してヘテロジーニアス接合変分方程式数値演算部８に送る。

【００８５】ヘテロジーニアス接合変分方程式数値演算部８は、再びパラメータ値φ（ｘｂ）α1、φ（ｘｂ）α２、－－－と変数値Ｊｑ（ｘｂ）α1、Ｊｑ（ｘｂ）α２、－－－とＪｃ（ｘｂ）α1、Ｊｃ（ｘｂ）α２、－－－を協調分散型演算制御部１２に設定する。

【００８６】協調分散型演算制御部１２は、パラメータ値φ（ｘｂ）と変数値Ｊｑ（ｘｂ）、Ｊｃ（ｘｂ）の組として｛φ（ｘｂ）α1、Ｊｑ（ｘｂ）α1、Ｊｃ（ｘｂ）α1｝、｛φ（ｘｂ）α２、Ｊｑ（ｘｂ）α２、Ｊｃ（ｘｂ）α2｝、－－－を設定する。又、数値演算装置３に複数のヘテロジーニアス接合方程式６を設定する。設定されたパラメータ値φ（ｘｂ）と変数値Ｊｑ（ｘｂ）、Ｊｃ（ｘｂ）の組｛φ（ｘｂ）α1、Ｊｑ（ｘｂ）α1、Ｊｃ（ｘｂ）α1｝、｛φ（ｘｂ）α２、Ｊｑ（ｘｂ）α２、Ｊｃ（ｘｂ）α２｝、－－－を複数のヘテロジーニアス接合方程式６に送り出し、分散処理により得られたＨの値Ｈα１、Ｈα２、－－－を取り出して最適探索ベクトル設定部１３に送り出す。

【００８７】最適探索ベクトル設定部１３は、Ｈα１、Ｈα２、－－－の中でノルムが最小となり且つ前回の繰り返し演算におけるＨのノルムの最小値より小さくなるＨαをヘテロジーニアス接合方程式の数値演算部８に送る。

【００８８】ヘテロジーニアス接合方程式数値演算部８は、設定値αに対するパラメータ値φ（ｘｂ）αと変数値Ｊｑ（ｘｂ）α、Ｊｃ（ｘｂ）α及びＨの値Ｈαから形成された数８のヘテロジーニアス接合の一次変分方程式のみを解くことで最適パラメータ値φ（ｘｂ）に対する増加量Δφ（ｘｂ）を得る。又、図１１に示すように、Ｈα１、Ｈα２、－－－の中でノルムが最小となるＨαが前回の繰り返し演算におけるＨのノルムの最小値より大きい場合は、非線形性を弱めるためにαを１／８倍に縮小して上記手順を繰り返す。図１０の中に示した添え字のｋは、ｋ回目の繰り返し時の値であることを表す。ここで、複数の量子輸送シミュレータ４と複数の古典輸送シミュレータ５及び複数のヘテロジーニアス接合方程式６への協調分散処理を行えば、従来技術の結合法よりも最適探索ベクトルが設定されることから繰り返し回数が減少し超高速性及び高い収束性が得られる。従って、本システムはナノメートル素子シミュレーションに関する量子輸送シミュレータと古典輸送シミュレータ間の超高速且つ極安定な協調分散コンピューティングシステムといえる。

【００８９】

【発明の効果】本発明によれば、従来技術の非結合法における収束不安定性及び結合法におけるシミュレータの再構築によるプログラム開発量の増大を防ぐことができ、而も、協調分散処理を活用することで非結合法の繰り返し所要時間より短い超高速性且つ結合法の収束性を上回る極安定性を兼ね備えることになる。更に、物理現象が益々複雑化した場合においても、シミュレーションエンジニアは、新たにヘテロジーニアスな接合方程式を設定するのみで自動的にグローバルコンシスタントな解が得られることから、オペレータの解析と設計を極めて効果的に支援するコンピューティングシステムが構築される。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の演算制御部７を特徴とするヘテロジー

ニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティングシステムのブロック図。

【図２】本発明の協調分散型微分演算制御部１１を特徴とするヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティングシステムのブロック図。

【図３】本発明の協調分散型演算制御部１２及び最適探索ベクトル設定部１３を特徴とするヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティングシステムのブロック図。

【図４】本発明の最適探索ベクトル設定部１３及び探索ベクトル設定部１０を特徴とするヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティングシステムのブロック図。

【図５】本発明の拡張したヘテロジーニアス接合変分方程式数値演算部８’を特徴とするヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティングシステムのブロック図。

【図６】従来技術の非結合法を用いたシステムブロック図。

【図７】従来技術の結合法を用いたシステムブロック図。

【図８】本発明の演算制御部７を特徴とするナノメートル素子シミュレーションにおける量子輸送シミュレータと古典輸送シミュレータ間の協調分散コンピューティングシステムのブロック図。

【図９】本発明の協調分散型微分演算制御部１１を特徴とするナノメートル素子シミュレーションにおける量子輸送シミュレータと古典輸送シミュレータ間の協調分散コンピューティングシステムのブロック図。

【図１０】本発明の協調分散型演算制御部１２及び最適探索ベクトル設定部１３を特徴とするナノメートル素子＊シミュレーションにおける量子輸送シミュレータと古典輸送シミュレータ間の協調分散コンピューティングシステムのブロック図。

【図１１】本発明の最適探索ベクトル設定部１３及び探索ベクトル設定部１０を特徴とするナノメートル素子シミュレーションにおける量子輸送シミュレータと古典輸送シミュレータ間の協調分散コンピューティングシステムのブロック図。

【図１２】量子輸送シミュレータにおける処理手順を示すフローチャート。

【図１３】古典輸送シミュレータにおける処理手順を示すフローチャート。

【図１４】ヘテロジーニアスなシミュレータ間の協調分散コンピューティング実行環境のシステム構成図。

【図１５】図１における演算制御部７の処理手順を示すＰＡＤ図。

【図１６】図２における協調分散型微分演算制御部１１を含んだ演算制御部の処理手順を示すＰＡＤ図。

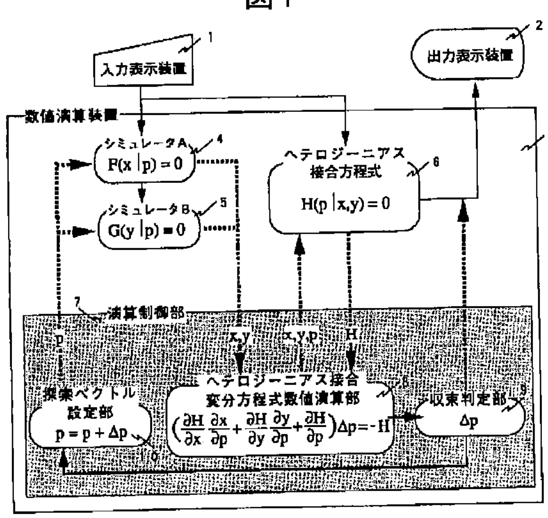
【図１７】図３における最適探索ベクトル設定部１３を含んだ演算制御部７の処理手順を示すＰＡＤ図。

【符号の説明】

１：入力表示装置、２：出力表示装置、３：数値演算装置、４：シミュレータＡ又は量子輸送シミュレータ、５：シミュレータＢ又は古典輸送シミュレータ、５’：その他シミュレータ６：ヘテロジーニアス接合方程式、６’：拡張型のヘテロジーニアス接合方程式７：演算制御部、９：収束判定部、１０：探索ベクトル設定部、８：ヘテロジーニアス接合変分方程式の数値演算部、８’：拡張型のヘテロジーニアス接合変分方程式の数値演算部、１１：協調分散型微分演算制御部、１２：協調分散型演算制御部、１３：最適探索ベクトル設定部。

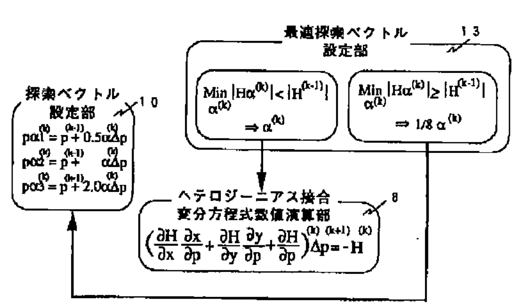
【図１】

図1



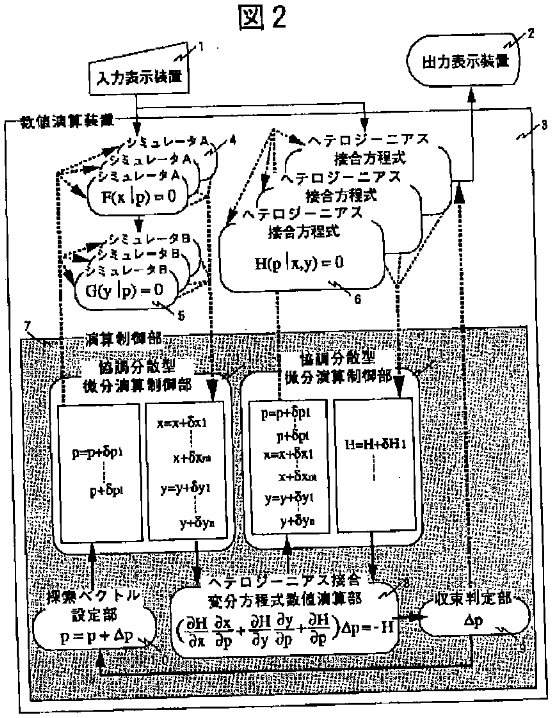
【図４】

図4



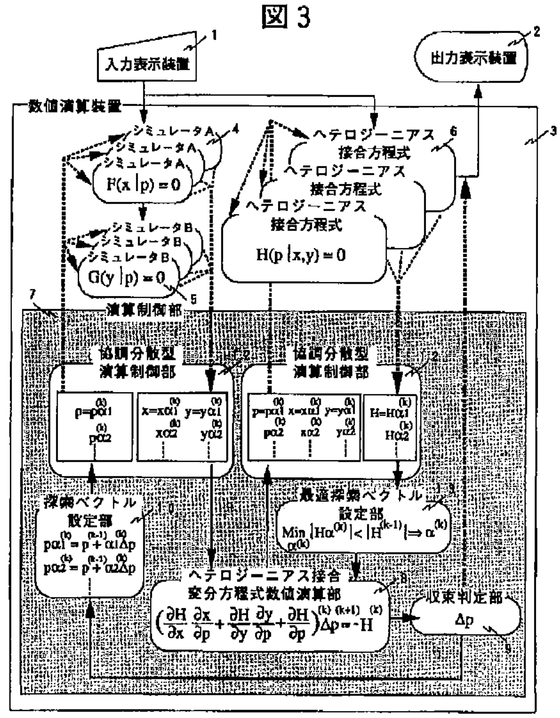
【図２】

図２



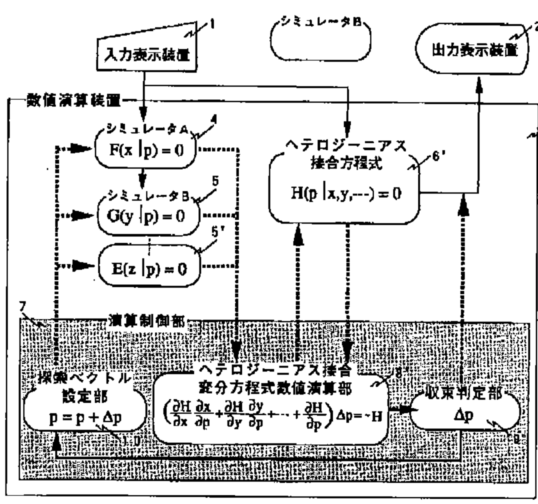
【図３】

図３



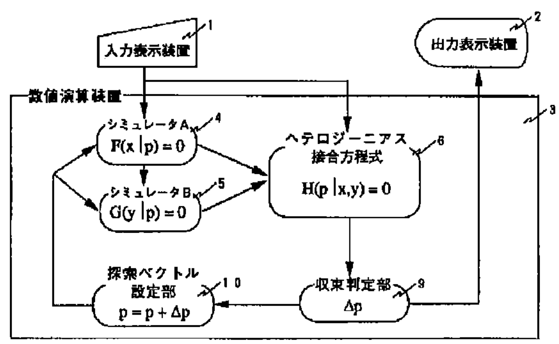
【図５】

図５



【図６】

図６



【図７】

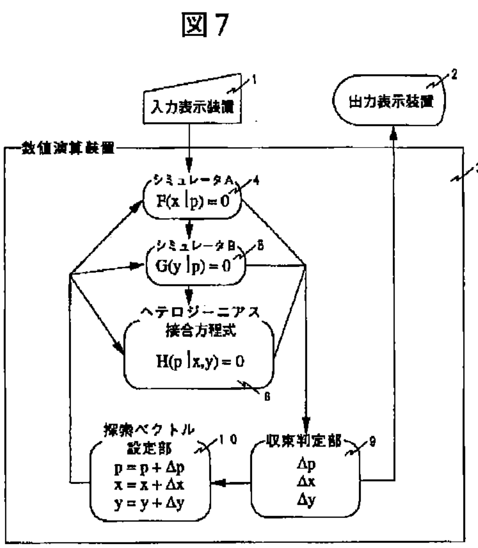


図7
入力表示装置
出力表示装置
数値演算装置
シミュレータA
F(x|p)=0
シミュレータB
G(y|p)=0
ヘテロジーニアス
接合方程式
H(p|x,y)=0
探索ベクトル
設定部
p=p+Δp
x=x+Δx
y=y+Δy
収束判定部
Δp
Δx
Δy

【図８】

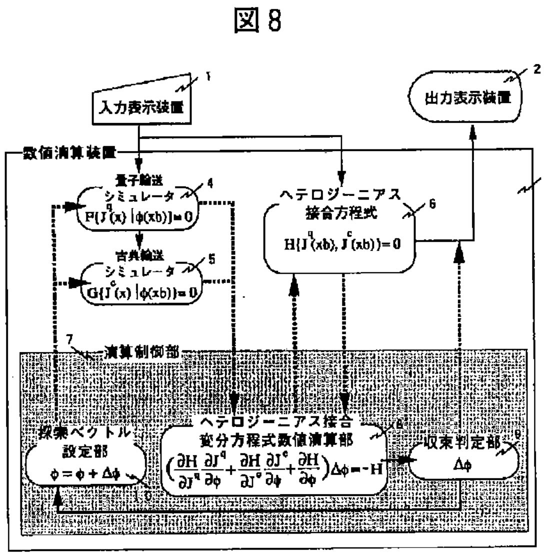


図8
入力表示装置
出力表示装置
数値演算装置
量子輸送
シミュレータ
古典輸送
シミュレータ
ヘテロジーニアス
接合方程式
演算制御部
探索ベクトル
設定部
ヘテロジーニアス接合
変分方程式数値演算部
収束判定部

【図９】

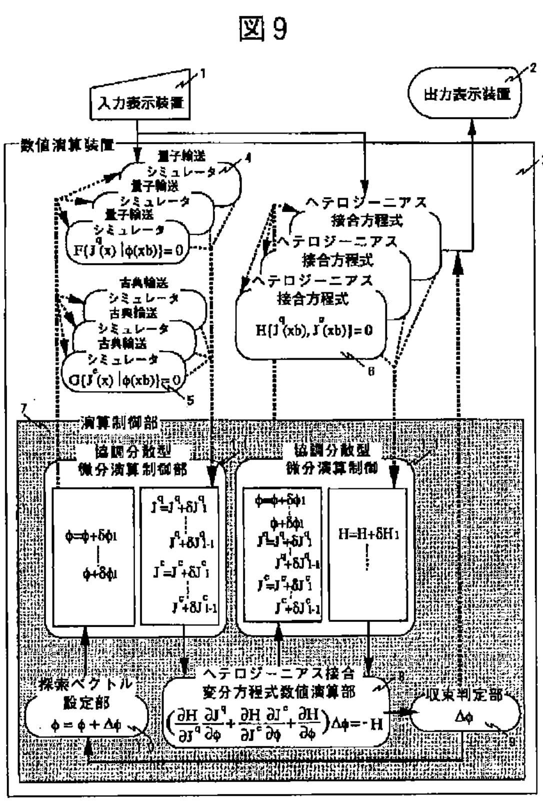


図9
入力表示装置
出力表示装置
数値演算装置
量子輸送
シミュレータ
古典輸送
シミュレータ
ヘテロジーニアス
接合方程式
演算制御部
協調分散型
微分演算制御部
探索ベクトル
設定部
ヘテロジーニアス接合
変分方程式数値演算部
収束判定部

【図１０】

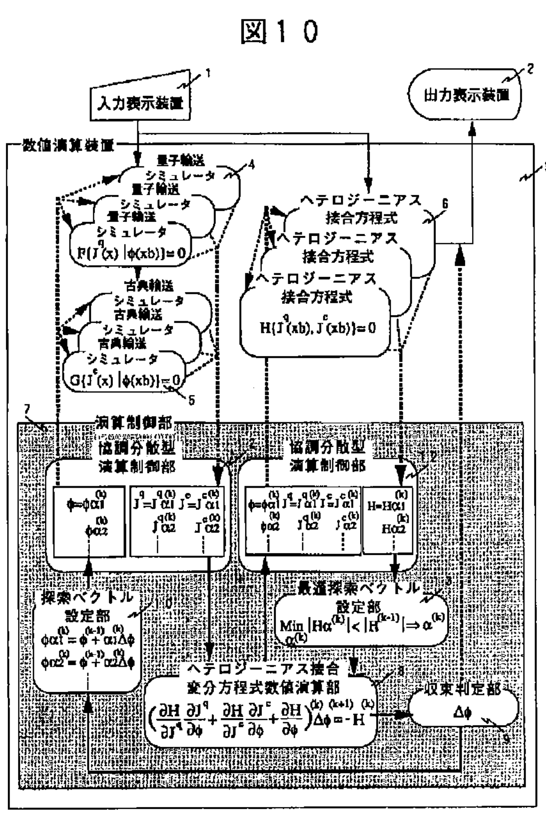
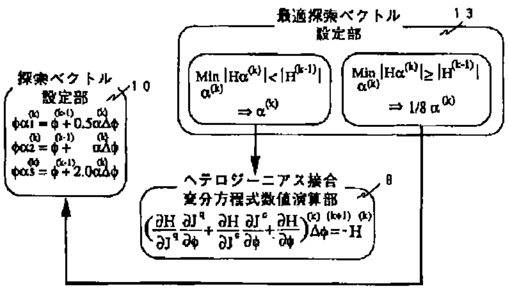


図10
入力表示装置
出力表示装置
数値演算装置
量子輸送
シミュレータ
古典輸送
シミュレータ
ヘテロジーニアス
接合方程式
演算制御部
協調分散型
演算制御部
最適探索ベクトル
設定部
探索ベクトル
設定部
ヘテロジーニアス接合
変分方程式数値演算部
収束判定部

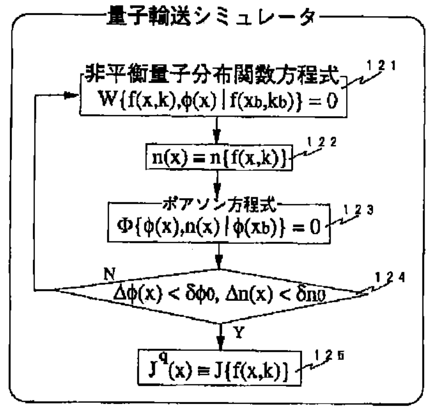
【図１１】

図１１



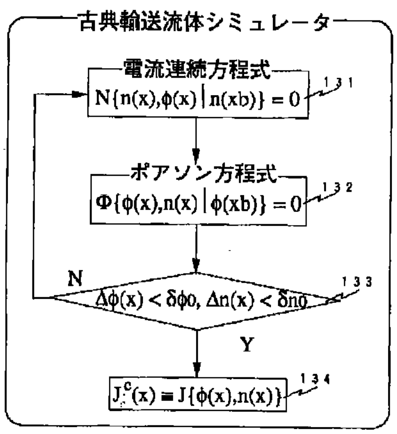
【図１２】

図１２



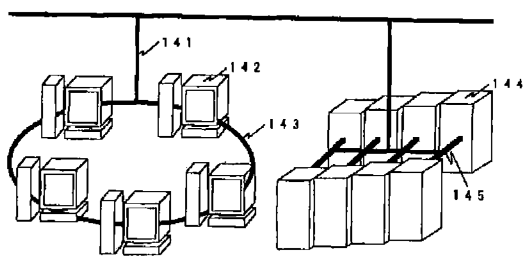
【図１３】

図１３



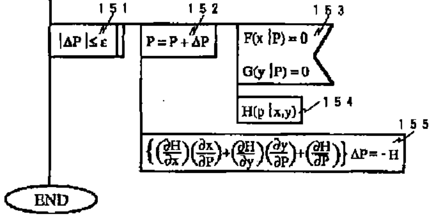
【図１４】

図１４



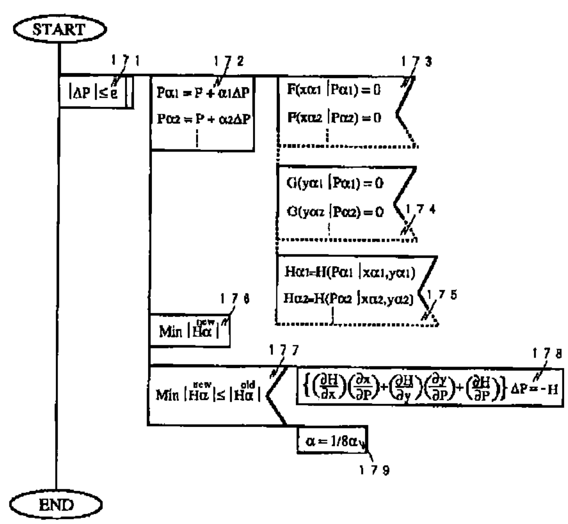
【図１５】

図１５



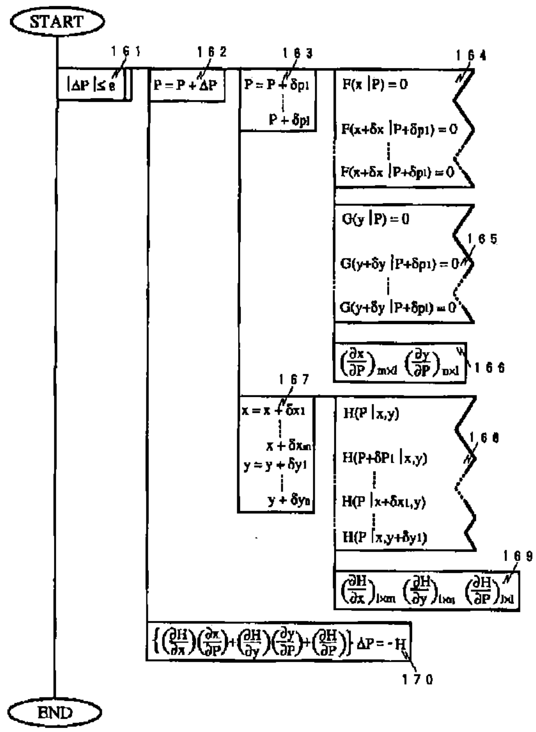
【図１７】

図17



【図16】

図16


START
|ΔP|≤ε
P=P+ΔP
P=P+δp1
P+δpl
F(x|P)=0
F(x+δx|P+δp1)=0
F(x+δx|P+δpl)=0
G(y|P)=0
G(y+δy|P+δp1)=0
G(y+δy|P+δpl)=0
x=x+δx1
x+δxm
y=y+δy1
y+δyn
H(P|x,y)
H(P+δP1|x,y)
H(P|x+δx1,y)
H(P|x,y+δy1)
ΔP=-H
END
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170